

Однако соблазнительный вывод об абсолютной целесообразности замены традиционных способов получения тепла путем внедрения теплонасосных технологий неверен. Только на основе тщательного технико-экономического анализа, учитывающего большое количество факторов может быть определена целесообразность такой замены в каждом конкретном случае.

1.Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л., Арсеньева О.П. Тепловые насосы в системах теплоснабжения // Інтегровані технології та ресурсозбереження. – 2005. – №4. – С.3-10.

2.Петин А.Ю. Тепловые насосы в теплоснабжении // Новости теплоснабжения. – 2001. – №11. – С.42-49.

3.Проценко И.П., Радченко В.А. Коэффициент преобразования парокомпрессионных тепловых насосов // Теплоэнергетика. – 1988. – №8. – С.51-53.

4.Калнинь И.М. Техника низких температур на службе энергетики // Холодильная техника. – 1995. – №1. – С.26-29.

5.Мартыновский В.С. Тепловые насосы. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 191 с.

Получено 28.12.2005

УДК 628.511

В.Ф.ГУБАРЬ, д-р техн. наук, М.В.ВЕРЕМЕЕНКО

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. г.Макеевка

ДВИЖЕНИЕ ПЫЛИ В ЦИКЛОНАХ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ

Приводится решение уравнения движения частицы в циклоне с учетом инерционных эффектов относительного движения частиц. Уравнение составлено в неподвижных цилиндрических координатах с учетом сил инерции, сопротивления и внешней силы для нисходящего потока, обусловленной радиальным стоком.

Циклоны являются наиболее характерными представителями сухих инерционных пылеуловителей, которые, как правило, имеют простую конструкцию, обладают большой пропускной способностью и несложные в эксплуатации. Ввиду этих преимуществ циклоны получили широкое распространение.

В настоящее время при определении эффективности циклонов принимается, что сила лобового сопротивления определяется законом Стокса. Закон Стокса для технических расчетов применяется до значения критерия Рейнольдса менее 5, в действительности при очистке потока от пыли в циклонах Re достигает 40.

С 90-х годов прошлого столетия интенсивно ведутся работы по повышению эффективности улавливания циклонами пылевидных частиц средней дисперсности (10-30 мкм), поскольку применение в этом

диапазоне рукавных фильтров или электрофильтров влечёт за собой неоправданно большие затраты [1-3].

Целью настоящей работы является разработка математической модели пылеулавливания в циклонах. На основании модели составления методика расчёта эффективности циклона, так же модель используется для анализа влияния геометрических размеров циклона и выбора его оптимальной конструкции.

В неподвижной системе координат при отсутствии внешних сил уравнение движения частицы в циклоне имеет вид:

$$\frac{\pi \cdot d^3}{6} \rho_n \frac{dV}{dt} = -\lambda \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{\rho \cdot V_c^2}{2}. \quad (1)$$

Здесь d – диаметр частицы, м; ρ_n и ρ – плотность частицы и потока соответственно, кг/м³; λ – коэффициент аэродинамического сопротивления; V_c – скорость движения частицы относительно среды, м/с, равная $V_c = V - W$, где V – абсолютная скорость прямолинейного движения частицы относительно неподвижной системы координат, м/с; W – средняя скорость потока на пути частицы, м/с.

Коэффициент аэродинамического сопротивления является функцией числа Рейнольдса. Обычно при рассмотрении сепарации в циклоне, принимают, что движение частицы происходит при стоксовском режиме, для которого

$$\lambda_C = 24 / \text{Re}. \quad (2)$$

Погрешность данной формулы составляет 0,5% для $\text{Re} < 1$, 2% для $1 < \text{Re} < 5$ и 15% для $5 < \text{Re} < 10$. Учитывая, что радиальная составляющая скорости частицы в циклоне составляет порядка 0,1 м/с для частиц $d = 10$ мкм и 3 м/с для частиц $d = 150$ мкм, число Рейнольдса при рассмотрении пылеулавливания в циклоне лежит в интервале от 0,1 до 40. Ввиду большой погрешности формулы Стокса при $\text{Re} > 5$ ее применение в этом интервале невозможно. Поэтому необходимо рассмотреть другую формулу для определения λ , например, формулу Клячко:

$$\lambda_K = \frac{24}{\text{Re}} + \frac{4}{\sqrt[3]{\text{Re}}}. \quad (3)$$

Формула Клячко имеет погрешность не более 2% при $3 < \text{Re} < 400$ и 4% при $0,1 < \text{Re} < 1000$. Однако формула (3) не даёт возможности для аналитического определения тангенциальной скорости частицы из уравнения (1). Поэтому для определения коэффициента

лобового сопротивления в интервале $0,1 < Re < 40$ используется кусочно-ломанная функция вида:

$$\psi = K / Re. \quad (4)$$

Здесь K – коэффициент, определяемый из условия отклонения введенной кусочно-ломанной функции от формулы Клячко на 2% и менее при $Re > 3$. Зависимость K от Re приведена в таблице.

Зависимость коэффициента K от числа Рейнольдса

Re	3-4	4-5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-14	14-21	21-25	25-29	29-35	38-40
K	33,14	34,85	37,05	39,89	42,49	45,41	48,77	53,35	56,25	60,32	65,01	70,25

Учитывая, что при рассмотрении частицы определённого диаметра приблизительно известна её радиальная скорость, то, следовательно, можно определить число Рейнольдса и коэффициент K . Используем выражение для определения времени релаксации с учётом формулы (4), аналогично формуле для определения времени релаксации частицы при стоксовском режиме:

$$\tau_k = \frac{4\rho_n \cdot d^2}{3K \cdot \mu}, \quad (5)$$

где μ – динамическая вязкость потока, Па·с.

Используя формулы (4)-(5), приводим уравнение (1) к виду:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{1}{\tau_k} (W - V). \quad (6)$$

Проецируя уравнение (6) на оси координат и переходя от декартовых к полярным координатам, получаем два уравнения. Решением одного из уравнений является выражение для определения тангенциальной скорости частицы, приведенное в работе А.И.Пирумова, а второе уравнение может быть использовано для определения радиальной составляющей скорости частицы и имеет вид:

$$\frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{1}{\tau_k} \cdot \frac{dR}{dt} - \frac{k^2}{R^3} = 0, R(0)=R_0, R'(0)=0. \quad (7)$$

Здесь R_0 – начальный радиус траектории движения частицы, м.

Уравнение (7) относится к классу уравнений Эмдена-Фаулера и не имеет решения в элементарных функциях. Ранее это уравнение решалось А.И.Пирумовым путём приведения его к уравнению первого порядка с дальнейшим разложением R в ряд по малому параметру, в качестве которого выбиралось τ_k . Однако, таким способом невозмож-

но получить решения для начального участка движения, т.е. при малых t .

Следуя работам Л.С.Понтрягина, для построения приближенной формулы решения приведенного уравнения «сшивали» решения двух частных случаев уравнения (7). В качестве частных случаев рассмотрены решение уравнения (7) методом малого параметра (использовали два первых члена ряда разложения по малому параметру) при $t \gg \tau$ и решение уравнения (7) при $t \ll \tau$. В результате была получена формула

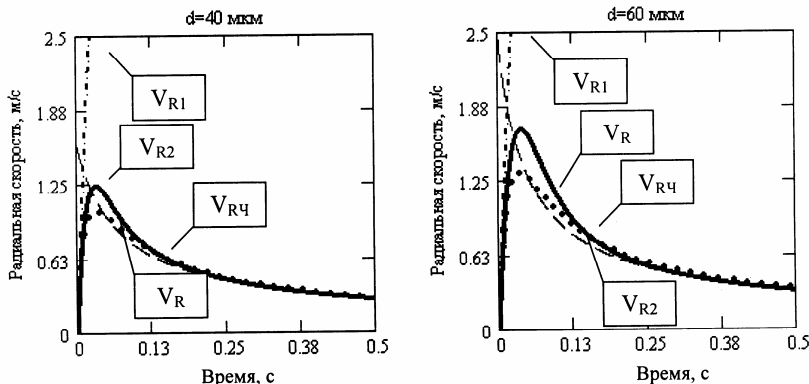
$$R = R_0^4 \sqrt[4]{1 + \frac{4\tau \cdot k^2 \cdot t^2}{(t + 2\tau_K)R_0^4}}, \quad (8)$$

которая описывает численное решение уравнения (7), полученное методом Эйлера, на начальном участке и за его пределами. Погрешность результатов полученных по формуле (8) не превышает 3% для частиц порядка 160 мкм, а для частиц 100 мкм погрешность не более 1,5%. Учитывая, что радиальная составляющая скорости частицы в циклоне $V_R = dR/dt$, дифференцируя уравнения (9) по t , получаем формулу для определения радиальной составляющей скорости потока:

$$V_R = \frac{\tau_K \cdot k^2 \cdot t}{R_0^3} \cdot \frac{t + 4 \cdot \tau_K}{(t + 2 \cdot \tau_K)^{5/4} \cdot \left(t + 2 \cdot \tau_K + \frac{4 \cdot \tau_K \cdot k^2 \cdot t}{R_0^4} \right)^{3/4}}. \quad (9)$$

На рисунке приведены зависимости V_R от t для двух диаметров частиц. Здесь V_{R1} – кривая, полученная путём дифференцирования решения уравнения (7); V_{R2} – дифференцированием решения уравнения (7) методом малого параметра; V_R – по формуле (9) и $V_{R\psi}$ – в результате численного решения уравнения (7).

Как видно из рисунка, функция V_{R1} адекватна численному решению $V_{R\psi}$ только в пределах начального участка сепарации, т.е. вблизи нуля, функция V_{R2} , полученная А.И.Пирумовым, наоборот, – за пределами начального участка, а радиальная скорость, определённая по формуле (9) описывает численное решение на протяжении всего времени пребывания частицы в циклоне.



Зависимость радиальной скорости частицы от времени ее пребывания в циклоне

1. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 296 с.

2. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. – М.: Химия, 1981. – 392 с.

3. Шилиев М.И., Шилиев А.М. Аэродинамика и тепломассообмен газодисперсных потоков. – Томск: Изд-во Томск. гос. архит.-строит. ун-та, 2003. – 272 с.

Получено 18.11.2005

УДК 656.02 : 338.47

И.А. ГАВРИЛЕНКО, Н.И. САМОЙЛЕНКО, д-р техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ПОСТАВКИ ЦЕЛЕВОГО ПРОДУКТА КОНКРЕТНОМУ ПОТРЕБИТЕЛЮ В СИСТЕМАХ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Предлагается метод расчета надежности поставки целевого продукта конкретному потребителю в трубопроводных транспортных системах сложной структуры.

Трубопроводная транспортная система (ТТС) с точки зрения теории надежности представляет собой сложную техническую систему, характеризующуюся следующими специфическими особенностями:

- структурной избыточностью (резервированием), приводящей к тому, что при отказе единичных элементов оборудования система в большинстве случаев может сохранять работоспособность;
- наличием большого спектра отказов, отличающихся вероятностью появления и последствиями – ущербом и длительностью устранения;